

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Ордена Ленина и Ордена Октябрьской Революции Институт геохимии и  
аналитической химии им. В.И. Вернадского Российской академии наук  
(ГЕОХИ РАН)

ПРИНЯТО

Ученым советом ГЕОХИ РАН

Протокол № 8 от 22 октября 2014 г.



УТВЕРЖДАЮ

Зам. директора ГЕОХИ РАН

В.П. Колотов

22 октября 2014 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**«Количественные аспекты масс-спектрометрии»**

**Направления подготовки:** 04.06.01 - Химические науки

*(указывается код и наименование направления подготовки)*

**Направленности (профили) подготовки:** 02.00.04 «Физическая химия»

*(наименование направленности подготовки)*

**Квалификация:** Исследователь. Преподаватель-исследователь

**Форма обучения:** очная

**Вид итогового контроля:** Зачет

*(Зачет/Дифференцированный зачет/Экзамен)*

**Москва 2014**

Рабочая программа составлена в соответствии с требованиями Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки 04.06.01 Химические науки (уровень кадров высшей квалификации). Приказ Минобрнауки РФ №869 от 30 июля 2014г. (зарегистрирован в Минюсте России 20 августа 2014г., регистрационный № 33718).

Рабочая программа адаптирована для аспирантов ГЕОХИ РАН на основе программы проф. Сидорова Л.Н. и д.х.н. Маркова В.Ю.

## 1. Цели и задачи освоения дисциплины

Целью изучения дисциплины является приобретение фундаментальных знаний и практических навыков, необходимых для профессиональной научно-исследовательской, инновационной и образовательной деятельности в области «Количественных аспектов масс-спектрометрии» и возможности их использования на практике.

Задачи дисциплины:

применять масс-спектрометрию для решения конкретных научных и практических задач и интерпретировать полученные результаты.

## 2. Место дисциплины (модуля) в структуре ООП

Дисциплина «Количественные аспекты масс-спектрометрии» входит в часть ООП и относится к дисциплинам по выбору обучающихся, направлены на подготовку к сдаче кандидатского экзамена по специальности.

## 3. Требования к предварительной подготовке обучающегося:

Знать: основные методы научно-исследовательской работы.

Уметь: выделять и систематизировать основные идеи в научных публикациях; критически оценивать информацию вне зависимости от источника.

Владеть: навыками поиска, анализа и систематизации информации по теме исследования; навыками выбора методов и средств решения задач исследования.

Для освоения дисциплины «Количественные аспекты масс-спектрометрии» требуются знания и умения, приобретенные обучающимися в результате освоения ряда дисциплин (разделов дисциплин), таких как:

- Физическая химия.
- Неорганическая химия
- Аналитическая химия
- Химия элементов
- Изотопный анализ

## 4. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины

Код компетенции	Содержание компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине
<b>УК-1</b>	способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том	<b>Знать:</b> методы критического анализа и оценки современных научных достижений, а также методы генерирования новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях.

	числе в междисциплинарных областях	<b>Уметь:</b> анализировать альтернативные варианты решения исследовательских и практических задач. <b>Владеть:</b> навыками анализа методологических проблем, возникающих при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях.
<b>ОПК-1</b>	способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий	<b>Знать:</b> современные способы использования информационно-коммуникационных технологий в выбранной сфере деятельности <b>Уметь:</b> выбирать и применять в профессиональной деятельности экспериментальные и расчетно-теоретические методы исследования.
<b>ОПК-2</b>	готовность организовать работу исследовательского коллектива в области химии и смежных наук	<b>Знать:</b> основные принципы организации работы в коллективе и способы разрешения конфликтных ситуаций/ <b>Уметь:</b> планировать научную работу, формировать состав рабочей группы и оптимизировать распределение обязанностей между членами исследовательского коллектива.
<b>ПК-4</b>	способность и готовность к самостоятельному проведению научно-исследовательской работы и получению научных результатов в области физической химии	<b>Знать:</b> современное состояние науки в области физической химии. <b>Владеть:</b> методами планирования, подготовки, проведения научно-исследовательской работы по направленности (02.00.04 Физическая химия).

## 5. Структура и содержание дисциплины

Общая трудоёмкость дисциплины составляет 3 зачётных единицы, 108 часов, из которых 18 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (18 часов занятия лекционного типа, 90 час. составляет самостоятельная работа обучающегося).

Вид работы	Всего
<b>Общая трудоёмкость</b>	108
<b>Аудиторная работа:</b>	18
лекции	18
семинары	-
<b>Лабораторные работы (ЛР)</b>	-
<b>Самостоятельная работа</b>	90

Вид итогового контроля

зачет

## Содержание дисциплины, виды учебных занятий и формы их проведения

№ раздела	Наименование раздела	Кол. часов	
		Всего	Лекции
1	Принципиальные основы масс-спектрометрии	10	10
2	Применение масс-спектрометрии	8	8
	Самостоятельная работа	90	
	ИТОГО	108	18

## Лекции

№ раздела	Наименование раздела	Содержание лекций
1	Принципиальные основы масс-спектрометрии	<p><i>Определяемые физические величины и единицы их измерения</i> Точное значение молекулярной массы (массового числа) и изотопное распределение. Примеры расчетов изотопного распределения для молекул с большим числом атомов углерода. Масс-спектр. Абсолютная и относительная интенсивности. Молекулярные, фрагментные и псевдомолекулярные ионы.</p> <p><i>Масс-спектральное оборудование</i> Основные элементы масс-спектрометра и системы их поддержки. Вакуумная система. Представления о предварительном и высоком вакууме. Высоковакуумные насосы. Система управления масс-спектрометром. Возможность интегрирования элементов и систем их поддержки. Основные характеристики масс-спектрометров, и их классификация.</p> <p><i>Методы ионизации</i> Классификация методов ионизации. Методы ионизации веществ в газообразном состоянии. Электронный удар. Представление о характеристических временах процессов. Ионизация и фрагментация. Принцип Франка-Кондона. Закон Бугера-Ламберта-Бэра. Сечение ионизации. Кривые эффективности ионизации. Энергии появления ионов. Однофотонная ионизация. Захват электрона. Энергия электронного сродства. Диссоциативный и недиссоциативный захват. Кривые эффективного выхода ионов. Пики резонансного вида. Автоотщепление электрона. Причины большого времени жизни ионов при высоких энергиях захваченного электрона. Химическая ионизация. Газы-реагенты. Первичная и вторичная ионизация. Реакционные ионы. Образование отрицательно заряженных ионов.</p> <p><i>Устройства ввода образцов в масс-спектрометр</i> Устройства ввода (интерфейсы), совместимые с методами ионизации газообразных веществ. Совмещение с газовым хроматографом. Мембраны и капиллярные колонки. Прямой ввод пробы. Системы шлюзов с предварительной откачкой. Газодинамический и молекулярный потоки.</p>

	<p>Эффузионная ячейка. Уравнение Герца-Кнудсена. Селектор молекулярных скоростей. Представление о термической поверхностной ионизации. Уравнение Саха-Ленгмюра. Работа выхода поверхности.</p> <p><i>Деструктивные методы ионизации</i> Искровая и дуговая ионизация, лазерный микрозонд, индуктивно связанная плазма.</p> <p><i>Десорбционные методы ионизации</i> Плазменная десорбция. Масс-спектрометрия вторичных ионов. Бомбардировка быстрыми атомами. Генерирование пучков быстрых атомов. Лазерная десорбция. Инкорпорирование в матрицу. Представление об энергетической плотности десорбирующих частиц (фотонов).</p> <p><i>Матрично-активированная лазерная десорбция/ионизация (МАЛДИ)</i> Роль матрицы и требования к ней. Представление об образовании ионов в МАЛДИ. Первичная и вторичная ионизации. Десорбция и абляция. Сильно сжатая область (факел МАЛДИ). Особенности фрагментации в МАЛДИ. Дискриминационные эффекты. Ввод образцов и пробоподготовка в случае десорбционных методов ионизации. Совмещение масс-спектрометрии МАЛДИ с двумерным гель-электрофорезом и микроскопией.</p> <p><i>Распылительные методы ионизации</i> Ввод образцов и совмещение с жидкостной хроматографией. Химическая ионизация при атмосферном давлении и фотоионизация при атмосферном давлении. Принципиальные схемы методов. Газ-испаритель и газ-реагент. «Масс-спектральные окна». Масс-спектрометрия без пробоподготовки. Прямой анализ объектов в реальном времени. Ионизирующие частицы.</p> <p><i>Ионизация распылением в электрическом поле</i> Вытягивание ионов с конца иглы. Напряженность вытягивающего поля. Конус Тейлора. Предел Релея. Противоток газа-испарителя. Модели остаточного заряда и испарения ионов. Предварительное генерирование ионов. Многочargedные ионы. Вычисление молекулярных масс исследуемых веществ. Возможность применение ИРЭП без предварительного генерирования ионов. Нанораспыление.</p> <p><i>Масс-анализаторы</i> Магнитный статический масс-анализатор. Вывод основного уравнения масс-спектрометра. Сканирование масс-спектра. Метастабильные ионы. Сферическая и хроматическая aberrации. Секторное магнитное поле. Масс-спектрометр с двойной фокусировкой. Времяпролетный масс-анализатор. Принцип действия. Вытягивающий электрод и время задержки. Рефлектрон. Ортогональный ввод. Регистрация метастабильных ионов. Метод распада в бесполевым пространстве (РБП). Спиральный времяпролетный масс-анализатор. Квадрупольные масс-анализаторы и масс-фильтры. Линейный квадрупольный масс-анализатор. Уравнения Матье. Области</p>
--	---

		<p>стабильности. Ионные ловушки. Тандемная масс-спектрометрия. Запись конфигураций масс-спектрометров. Камеры столкновений. Способы принудительной фрагментации ионов: диссоциация, индуцированная столкновениями, фотодиссоциация, диссоциация захватом электронов.</p> <p><i>Масс-спектрометрия ионно-циклотронного резонанса (ИЦР)</i> Циклотронная частота. Камера удерживания ионов. Магнетронное движение. Многочастотный импульсный волновой пакет. Преобразования Фурье. Орбитальная ионная ловушка. Эквипотенциальные поверхности и уравнения движения ионов. Характеристический радиус.</p> <p><i>Детектирование ионов</i> Измерение ионных токов. Цилиндр Фарадея. Динаatronный эффект и антидинаatronный электрод. Вторично-электронные и фотоэлектронные умножители. Конверсионный диод. Микроканальные пластины. Счет ионов. Масс-спектрографы. Решеточные детекторы. Наведенный ионный ток</p>
2	Применение масс-спектрометрии	<p><i>Применение масс-спектрометрии в аналитических целях</i> Хромато-масс-спектрометрия. Идентификация веществ. Библиотеки масс-спектров. Использование точных значений молекулярных моноизотопных масс ионов. Применение МАЛДИ и методов распылительной ионизации. Экспрессные масс-спектральные анализы. Масс-спектры как характеристики товаров. Защита от терроризма: спектрометры ионной подвижности и масс-спектрометрические сенсоры взрывчатых и отравляющих веществ.</p> <p><i>Масс-спектральное определение химического строения веществ</i> Закономерности фрагментации ионов органических веществ. Применение распада в бесполом пространстве и тандемной масс-спектрометрии. Материнские и дочерние ионы. Последовательная фрагментация.</p> <p><i>Применение масс-спектрометрии в биологии и медицине</i> Установление последовательности аминокислотных звеньев в пептидах. Протеолитическое расщепление белков. Пептидные карты масс. Протеомика. Секвенирование нуклеиновых кислот. Идентификация микроорганизмов по белковому профилю. Применение масс-спектрометрии в хирургии.</p> <p><i>Изотопный анализ</i> Особенности масс-спектрометров для изотопного анализа. Методические основы. Географическая распространенность изотопов. Изотопные стандарты. Установление географического происхождения объектов. <sup>13</sup>C уреазный дыхательный тест. Метод изотопного разбавления. Радиоуглеродный анализ. Датирование объектов. Изотопный анализ в ядерной энергетике.</p> <p><i>Масс-спектрометрия в физической химии.</i> Высокотемпературная (кнудсеновская) масс-спектрометрия. Определение давления насыщенного пара и энтальпии сублимации (испарения). Ион-молекулярные равновесия. Определение энергий ионизации и электронного сродства. Определение по кривым эффективности ионизации. Ион-</p>

		молекулярные реакции в ячейке ИЦР. Метод скобок. Идентификация свободных радикалов. Масс-спектрометрия высокого давления. Применение методов ИРЭП и МАЛДИ для регистрации свободных радикалов. Молекулярные пучки. Определение сечений процессов.
--	--	---

## 6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы аспирантов

Самостоятельная работа подкрепляется учебно-методическим и информационным обеспечением, включающим учебники, учебно-методические пособия, конспекты лекций. Основные виды самостоятельной работы: в читальном зале библиотеки, на рабочем месте с доступом к ресурсам Интернет по IP-адресам.

Основной контроль знаний осуществляется в процессе участия в обсуждениях, ответов на вопросы и др.).

## 7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

### Основная литература

1. А.Т. Лебедев. *Масс-спектрометрия в органической химии*. М.: «Бином». 2003.
2. В.Г. Заикин, А.В. Варламов, А.И. Микая, Н.С. Простаков. *Основы масс-спектрометрии органических соединений*. М.: МАИК «Наука/Интерпериодика». 2001.
3. А.Т. Лебедев, К.А. Артеменко, Т.Ю. Самгина. *Основы масс-спектрометрии белков и пептидов*. М.: «Техносфера». 2012.
4. А.Т. Лебедев. *Масс-спектрометрия для анализа объектов окружающей среды*. М.: «Техносфера». 2013.
5. Л.Н. Сидоров, М.В. Коробов, Л.В. Журавлёва. *Масс-спектральные термодинамические исследования*. М.: Изд. МГУ. 1985.
6. А.М. Зякун. *Теоретические основы изотопной масс-спектрометрии в биологии*. Пушино: «Фотон-век». 2010.
7. И. Лаваньини, Ф. Маньо, Р. Сералья, П. Тральди. *Количественные методы в масс-спектрометрии*. Пер. с англ. Ю.О. Каратассо. Под ред. Е.Н. Николаева. М.: «Техносфера». 2008.
8. Б.Л. Мильман. *Введение в химическую идентификацию*. СПб.: ВВМ. 2008.
9. В.Г. Заикин. *Масс-спектрометрия синтетических полимеров*. М.: ВМСО. 2009.

### Дополнительная литература

1. В.Ю. Марков, Л.Н. Сидоров. *Применение масс-спектрометрии матрично-активированной лазерной десорбции/ионизации к фуллеренам и их производным*. М.: Отдел оперативной печати и информации Химического факультета МГУ. 2009.
2. *Практикум по физической химии: Физические методы исследования*. Под ред. М.Я. Мельникова, Е.П. Агеева и В.В. Лунина. М.: Изд. центр «Академия». 2014.

### Периодическая литература

1. В библиотеке ГЕОХИ РАН доступна периодическая литература с 1947 г. Информация о Каталоге периодических изданий: [Электронный каталог печатных версий журналов в библиотеке ГЕОХИ с 1947 по наст.xlsx](#). В каталоге 184 наименования печатных версий журналов в фонде ГЕОХИ РАН, из них 94-на иностр. языках. Библиотека располагает достаточным количеством наименований и

- экземпляров дополнительной литературы: официальными, общественно-политическими и научно-популярными периодическими изданиями, справочно-библиографическими изданиями, в том числе энциклопедиями, энциклопедическими словарями, отраслевыми словарями и справочниками, в том числе на иностранных языках, библиографическими пособиями, обеспечивая к ним доступ всех категорий пользователей библиотеки. Фонд дополнительной литературы помимо учебной литературы включает официальные, справочно-библиографические и специализированные периодические издания.
2. Через БЕН РАН доступна периодическая литература по межбиблиотечному абонементу практически из любого библиотечного фонда Институтов РАН и крупных библиотек России (ГПНТБ, РГБ и др.).
  3. Marshall A.G., Comisarow M.B., Parisod G. Relaxation and spectral line shape in Fourier transform ion resonance spectroscopy // *J. Chem. Phys.* 1979. Vol. 71, N 11. P. 4434–4444.
  4. Spengler B. Post-source decay analysis in matrix-assisted laser desorption/ionization mass spectrometry of biomolecules // *J. Mass Spectrom.* 1997. Vol. 32, N 10. P. 1019–1036.
  5. Zenobi R., Knochenmuss R. Ion formation in MALDI mass spectrometry // *Mass Spectrom. Rev.* 1998. Vol. 17, N 5. P. 337–366.
  6. Makarov A. Electrostatic axially harmonic orbital trapping: a high-performance technique of mass analysis // *Anal. Chem.* 2000. Vol. 72, N 6. P. 1156–1162.
  7. Karas M, Krüger R. Ion Formation in MALDI: The Cluster Ionization Mechanism // *Chem. Rev.* 2003. Vol. 103, N 2. P. 427–439.
  8. Zhigilei L.V., Leveugle E., Garrison B.J., Yingling Y.G., Zeifman M.I. Computer simulations of laser ablation of molecular substrates // *Chem. Rev.* 2003. Vol. 103, N 2. P. 321–347.
  9. Kebarle P., Verkerk U.H. Electrospray: from ions in solution to ions in the gas phase, what we know now // *Mass Spectrom. Rev.* 2009. Vol. 28, N 6. P. 898–917.
  10. Markov V.Yu., Borschevsky A.Ya., Sidorov L.N. MALDI mass spectrometry of fullerene derivatives // *Int. J. Mass Spectrom.* 2012. Vol. 325–327, N 1. P. 100–112.

### **Интернет-ресурсы:**

Доступ к электронным научным информационным ресурсам осуществляется как в читальном зале библиотеки ГЕОХИ РАН, так и на рабочем месте по IP-адресам ГЕОХИ РАН:

1. [www.vmsso.ru](http://www.vmsso.ru)
2. <http://www.nist.gov/mass-spectroscopy.cfm>
3. <http://www.chem.msu.su/rus/elibrary/welcome.html>
4. <http://apps.webofknowledge.com/> -База данных Web of Science
5. <http://www.scopus.com/> - База данных SCOPUS
6. <http://www.sciencedirect.com/> - Журналы издательства Elsevier - Freedom Collection
7. <http://link.springer.com>- Журналы издательства Springer
8. <http://www.springerprotocols.com/> - Журналы издательства Springer Journals и SpringerProtocols
9. <http://e-library.ru> Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU
10. <http://www.benran.ru/> с компьютеров библиотеки ГЕОХИ РАН открыт доступ к электронным ресурсам Библиотеки по естественным наукам РАН.
11. Физические методы исследования в химии.  
<http://www.chem.msu.ru/rus/teaching/education-program/spec-phys/29.html>
12. Википедия. Свободная энциклопедия:  
[https://ru.wikipedia.org/wiki/Физическая\\_химия](https://ru.wikipedia.org/wiki/Физическая_химия)

13. <http://www.physchem.chimfak.rsu.ru/Source/PCC/index.html> - Левченков С. И., Физическая и коллоидная химия: Конспект лекций.
14. <http://www.chem.msu.ru/rus/elibrary/welcome.html> - Портал с лекциями, учебно-методическими материалами МГУ им. М.В.Ломоносова.

## **7. Образовательные технологии**

Кроме очных лекций предусмотрена самостоятельная работа и выполнение расчетных заданий. При осуществлении образовательного процесса по дисциплине используется персональный компьютер (или ноутбук) с необходимым программным обеспечением для работы устройства, а также для демонстрации презентаций MS PowerPoint и для решения задач.

## **8. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

8.1. Лаборатории ГЕОХИ РАН оснащены необходимыми приборами и оборудованием:

- приборы: ИСП-МС X Series2 (Thermo Scientific); ИСП-АЭС: iCAP6500 (Thermo Scientific), iCAP9000 (Thermo Jarell Ash); Рентгено-спектральный анализ Axios Advanced PW 4400/04 (Philips); Рентгено-спектральный микроанализ SX-100 (Cameca), мультиколлекторный изотопный масс-спектрометр Triton и другие.
- лабораторное оборудование: центрифуги разного типа, микроволновые системы разложения проб, дистилляторы, весы технические, весы аналитические, лабораторная посуда, химические реактивы.

8.2. Лекционная аудитория, оборудованная проекционным оборудованием и доступом в сеть «Интернет».

## **9. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины**

9.1. Форма контроля знаний:

9.1.1. Текущий контроль знаний в течение всего курса осуществляется с помощью контрольных вопросов.

9.1.2. Зачет по дисциплине в конце курса обучения.

### **9.2. Оценочные средства (в виде устных вопросов и др.)**

#### **9.2. 1. Перечень примерных вопросов для текущего контроля знаний:**

1. Массовое число, точное значение массы, среднее значение массы: определение, различия, единицы измерения.
2. Изотоп, изотопмер, изотопное распределение. Формулы для расчета изотопного распределения.
3. Ионы: заряд и зарядовое число, способы классификации.
4. Масс-спектрометры: основные элементы и системы их поддержки, характеристики, способы классификации.

5. Ионизация газообразных веществ: электронный удар, захват электрона и химическая ионизация. Совместимые устройства ввода.
6. Электронный удар: основные принципы и процессы, достоинства и недостатки, возможности применения.
7. Захват электрона: основные принципы и процессы, достоинства и недостатки, возможности применения.
8. Химическая ионизация: основные принципы и процессы, достоинства и недостатки, возможности применения.
9. Термическая поверхностная ионизация: основные принципы и процессы, возможности применения.
10. Деструктивные методы ионизации: основные принципы и процессы, достоинства и недостатки, возможности применения.
11. Десорбционные методы ионизации: принципиальные особенности, разновидности, области применения.
12. Матрично-активированная лазерная десорбция/ионизация: основные принципы и процессы, роль матрицы, особенности масс-спектрального оборудования.
13. Распылительные методы ионизации: принципиальные особенности, разновидности, области применения.
14. Ионизация распылением в электрическом поле: основные принципы и процессы, особенности интерпретации масс-спектра.
15. Магнитный статический масс-анализатор: принцип действия, основное уравнение (с выводом), достоинства и недостатки.
16. Времяпролетный масс-анализатор: принцип действия, основное уравнение (с выводом), достоинства и недостатки.
17. Рефлектрон: принцип действия, регистрация метастабильных пиков.
18. Квадрупольный масс-анализатор: принцип действия, области применения.
19. Ион-циклотронный резонанс: принцип действия, достоинства и недостатки, совместимость с методами ионизации.
20. Орбитальная ионная ловушка: принцип действия, достоинства и недостатки, совместимость с методами ионизации.
21. Детектирование ионов. Величины ионных токов и возможности их измерения: способы умножения и усиления сигналов, счет ионов. Характеристики детекторов.
22. Спектрометры ионной подвижности: принцип действия и области применения.
23. Применение масс-спектрометрии в биологии и медицине: протеомика, секвенирование, идентификация микроорганизмов.
24. Изотопный анализ: методические основы и области применения.
25. Энергия ионизации и энергия появления ионов: способы определения.
26. Энергия электронного средства: способы определения.

### Упражнения для самостоятельной работы

1. Рассчитайте изотопное распределение и точное значение массы (до третьего знака) первого изотомера для аниона двусферного фуллеренового циклоаддукта  $C_{60}CH_2N(CH_2C_{60})C(COOt-C_4H_9)^-$ , если точные массы изотопов и их относительные содержания в природе следующие: C (12.0000 98.900001526%, 13.003350258 1.100000024%), H (1.007825017 99.9850%, 2.013999939 0.0150%), N (14.003069878 99.640%, 15.000109673 0.360%), O (15.994910240 99.760%, 16.999130249 0.040%, 17.999160767 0.200%). Является в данном случае первый моноизотопный пик главным моноизотопным пиком? Если нет, то, каково массовое число главного моноизотопного пика?

2. Какова будет скорость однозарядного иона с массой 100 Да, ускоренного напряжением в 20 кВ? Можно ли описывать его движения законами классической механики?
3. Рассчитайте молекулярную массу полипептида, масс-спектр ИРЭП которого представлен следующими пиками 589.7, 619.0, 651.5, 687.6, 728.1, 773.5, 825.0, 883.8 и 951.8. Известно, что в данных условиях регистрации спектра образование ионов осуществляется путем присоединения протонов.
4. В масс-спектре фотонного удара (резонансное излучение аргоновой лампы, длины волн 1048 и 1067 Å), зарегистрированной в ходе реакции фторирования углеродного материала, присутствует пик  $\text{CF}_3^+$ . Означает ли этот пик однозначное присутствие в этой реакционной среде радикала  $\text{CF}_3$ , энергия ионизации которого составляет 8.76 эВ? Также известно, что энергии ионизации фторуглеродных электроннонасыщенных молекул более 13 эВ.
5. В масс-спектре МАЛДИ (матрица DCTB) отрицательных ионов образца производных фуллерена  $\text{C}_{60}$  присутствует пик, соответствующий молекулярному иону  $\text{C}_{67}\text{F}_{14}^-$ . В масс-спектре распада в бесполовом пространстве этого иона дочерними пиками являются  $\text{C}_{63}\text{F}_6^-$  и  $\text{C}_{64}\text{F}_8^-$ . Установите адденды, находящиеся на фуллереновой клетке в молекуле, соответствующей иону  $\text{C}_{67}\text{F}_{14}^-$ .

## ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ

№ листа изменений или наименования элемента приложения	№ протокола Ученого Совета (секции Уч. Совета)	Дата заседания Ученого Совета (секции Уч. Совета)	Всего листов в документе	Подпись зам. директора по научной работе
	Рабочая программа обсуждена и принята на заседании Ученого совета ГЕОХИ РАН, протокол № 8	22 октября 2014 года	12	
--	Обновленный текст программы принят на заседании Ученого совета РАН, Протокол №11(8)	28 декабря 2016 года	12	